

活塞驱动压电泵设计及阀芯弹簧刚度影响分析

袁海霞

(新乡职业技术学院智能制造学院,河南省新乡市,453006)

摘要 本文设计了一种活塞驱动压电泵,通过对压电元件层叠体施加正弦电压,活塞运动减小泵腔体积,压电泵运行结束后关闭。在压电执行器激励下,柱塞产生高频振荡,抽油阀门迅速转换使阀门形成周期性冲击。开展了阀芯弹簧刚度影响参数优化仿真分析及实验验证。研究表明:适当增大弹性体弹性系数可以提高瞬时最大回流率;逐级增大阀芯的弹性系数后,可提高压电泵最大输出流速。实验结果与仿真数据高度一致,证实仿真模型满足准确性要求。该研究有助于提高压电泵的运行稳定性,具有很高的实际参考价值。

关键词 压电泵;流量;仿真分析

中图分类号:TN384 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)06-0028-02

压电泵作为一种新型的液压驱动类型的泵体,其工作原理是利用压电材料的逆压电效应实现泵腔容积的周期控制^[1]。为进一步实现小型化、高压力、轻量化,需要对柱塞泵的工作容量调控机理和压力分布策略进行深入研究,并设计更优的高压配流技术^[2]。

相关压电泵方面的研究吸引了很多学者,取得了一定的研究成果。杜永革等^[3]对压电驱动伺服阀运行控制过程优化,开展阀芯弹簧刚度参数仿真分析及实验验证。提高阀芯弹簧刚度后形成更慢的响应速度,但获得更大的最大出口流量。吴鹏远等^[4]设计了一种阀配流式压电泵,建立阀芯回弹力学模型,采用串联弹簧-活塞衰减器抑制泵流量脉动,使流量脉动率减小一半。本研究针对轻质泵控式执行器的稳定性开展分析,深入探讨了其供液系统在高流量输出方面存在的不足,改进了压电式伺服阀的控制流程。在压电执行器激励下,柱塞产生高频振荡,抽油阀门迅速转换使阀门形成周期性冲击,并开展了阀芯弹簧刚度影响分析。

1 活塞驱动压电泵设计

本文对单向阀开闭过渡过程开展深入探讨,并

作者简介:袁海霞(1979~),女,河南新乡人,本科,讲师,研究方向:机械设计。

提出了一种创新性解决方案。图1为压电泵结构示意图。通过对压电元件层叠体施加正弦电压,使层叠体产生正弦位移。受到压电元件层叠体作用,活塞将向减小泵腔体积的方向移动,造成泵压力持续升高,直到压电泵运行为止。当阀门关闭时,阀芯-弹性振子产生连续振动,导致流体与气压形成明显脉动。然而,由于压电材料的位移一般只有数十微米,仅形成很小的位移量,使得输出功率很难满足要求,有必要对其输出位移适当放大处理^[5]。在压电微执行器的输出端与位移放大端间,采用本体与柱塞相连的方式,将各类电阻作为执行器载荷。将阀座视作弹性体,在碰撞过程中对阀芯产生弹性反作用,引发振荡回弹。这种振荡同样导致流量波动,对提高泵供油品质具有负面影响,降低后续环节中缸体的位移精度。

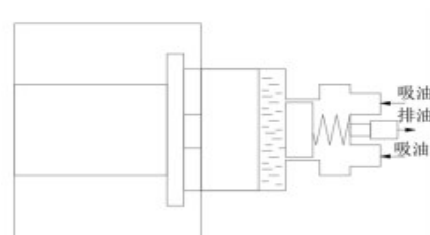


图1 压电泵原理图

为了优化模型设计,采用等效方法建立动态非线性模型。在压电微执行器的输出端与位移放大端间,采用本体与柱塞相连的方式,将各种电阻作为执行器载荷^[6]。

通过无源阀门传动与柱塞泵传动方式相结合

形式构建电动液压传动系统。如果只单纯采用柱塞泵提供驱动力,会产生供油脉动现象,对执行器性能产生一定影响^[7]。利用衰减器及储能器可以降低正排量泵流量波动幅度,改善泵流量精度控制效果。

2 仿真分析

2.1 模型建立

以Matlab/Simulink对其进行建模,对其供油特性进行仿真研究,并对其在工作过程中所产生的燃油流量进行了分析,探讨了供油流量与阀芯碰撞之间的关系。

由放大器产生的初始位移及位移变化值表明:在较低激励电压下,两放大器位移量相近;随堆叠电压增加,实测放大率与理论值更趋接近。其原因在于低压时叠堆位移小,润滑油压缩效应明显,同时活塞移动受粘性阻力影响,造成输出位移损失^[8]。

2.2 阀芯弹簧刚度影响分析

将液压放大控制机制引入到压电式伺服阀中,建立了一种通过液压控制方式进行位移调节的放大器。使用无源阀进行高频率控制时,由于阀的反应速度受限,因此其流量也存在极限值。图2是在不同阀芯弹性系数下所获得的瞬时最大流速分配参数。在不高于150Hz情况下,在各弹簧刚度下,峰值瞬时流速随激励频率增大而变化,之后峰值瞬时流速逐渐减小。根据以上条件,适当增大弹性体弹簧刚度可以提高瞬时最大回流率。

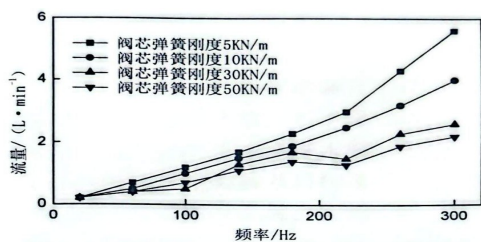


图2 不同阀芯弹簧刚度下泵最大瞬时流量变化

图3是在泵室返回弹簧刚度恒定状态下,测试得到的泵输出流率改变结果。在压电微执行器的输出端与位移放大端之间,采用本体与柱塞相连的方式,将各类电阻作为执行器载荷。由以上试验结果可知,当阀芯弹性系数增大时,其响应速度逐渐减慢。尤其是当阀芯弹性系数达到50kN/m时,形成了最大回流现象。逐级增大阀芯的弹性系数后,可使压电泵最大输出流速明显提高。

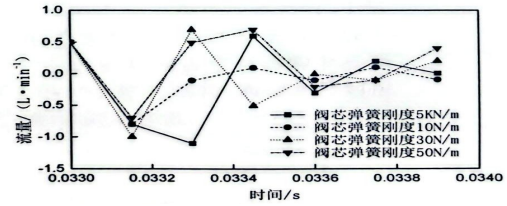


图3 不同阀芯弹簧刚度下泵流量动态变化

为了对仿真结果进行准确性验证,本研究设计了一组实验,其中,频率为150Hz,阀座直径为8mm,阀芯弹簧刚度为50kN/m。在保持5MPa的压差条件下,进行了流量静态控制曲线测试。实验结果与仿真数据高度一致,证实仿真模型满足准确性要求。本文通过无源阀传动与柱塞泵传动构建电动液压传动系统。

3 结论

本文开展活塞驱动压电泵设计及阀芯弹簧刚度影响分析,取得如下有益结果:适当增大弹性体弹性系数可以提高瞬时最大回流率,逐级增大阀芯的弹性系数后可提高压电泵最大输出流速。实验结果与仿真数据高度一致,证实仿真模型满足准确性要求。该研究表现出很高的流量控制效果,但在面对温度等干扰时存在一定的不足,期待后续在控制方面进一步加强。

参考文献

- [1] 孙业明,李驹,苏天一,等.锥形阶梯流管无阀压电泵仿真及实验[J].振动.测试与诊断,2024,44(03):602-607+626.
- [2] 黄成,孙景波,周春华,等.一种内贴片式压电泵的结构设计与理论分析[J].科学技术与工程,2021,21(20):8504-8508.
- [3] 杜永苹.带放大器阀驱压电泵出口流量特性及参数优化[J].液压气动与密封,2023,43(07):65-68.
- [4] 吴鹏远,王彬,杜逸浩.阀配流活塞式压电泵数学建模与仿真[J].计算机仿真,2020,37(12):224-229.
- [5] 谢煜喆,隋仁东,迟俊康,等.内置混合器式无阀压电泵性能[J].排灌机械工程学报,2023,41(11):1104-1110.
- [6] 严天祥,龙志文,陈辉庆,等.三叉四通管无阀压电泵的设计与试验[J].河南科技大学学报(自然科学版),2023,44(05):25-30+5-6.
- [7] 王建红,周浩,许有熊,刘娣.基于膜式液压放大的压电驱动器设计与试验[J].中国机械工程,2017,28(21):2567-2572.
- [8] 何丽鹏,赵达,李威,等.压电泵泵体出入口结构对输出性能的影响[J].压电与声光,2018,40(05):763-767.